

ELECTRODE STRUCTURE OF P-TYPE GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR
LAYER AND METHOD FOR FORMING THE SAME

Patent Number:

Publication date: 2001-01-19

Inventor(s): TAKATANI KUNIHIRO

Applicant(s): SHARP KK

Requested Patent: JP2001015852

Application Number: JP20000125121 20000426

Priority Number(s): JP20000125121 20000426; JP19990117775 19990426

IPC Classification: H01S5/042; H01L33/00

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electrode structure formed on a P-type group III nitride semiconductor layer, which is stable and has a low resistance, and a high adhesive strength. SOLUTION: An electrode structure on a P-type group III nitride semiconductor layer includes a first, a second, and a third electrode layers, 102, 103, and 104, where the first electrode layer 102 contains at least one kind selected out of a first metal group composed of Ti, Hf, Zr, V, Nb, Ta, Cr, W and Sc, the second electrode layer 103 contains at least one kind selected out of a second metal group composed of Ni, Pd, and Co, and the third electrode layer 104 contains Au.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-15852
(P2001-15852A)

(43) 公開日 平成13年1月19日 (2001.1.19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 S 5/042	6 1 0	H 0 1 S 5/042	6 1 0
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	E
			C

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-125121(P2000-125121)
(22) 出願日 平成12年4月26日 (2000.4.26)
(31) 優先権主張番号 特願平11-117775
(32) 優先日 平成11年4月26日 (1999.4.26)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

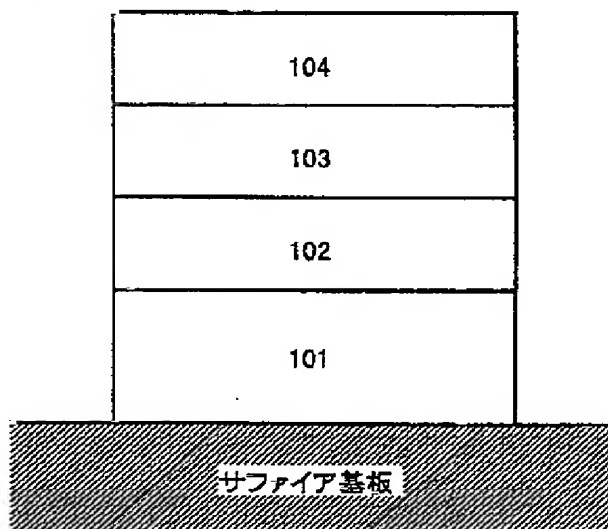
(71) 出願人 000003049
シャープ株式会社
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(72) 発明者 高谷 邦啓
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内
(74) 代理人 100102277
弁理士 佐々木 晴康 (外2名)

(54) 【発明の名称】 p型のIII族窒化物半導体層上の電極構造とその形成方法

(57) 【要約】

【課題】 p型のIII族窒化物半導体層上で安定した低抵抗と高い密着強度を有する電極構造を提供する。

【解決手段】 p型のIII族窒化物半導体層上の電極構造は、その半導体層上に順次積層された第1、第2および第3の電極層 (102, 103, 104) を含み、第1電極層 (102) はTi, Hf, Zr, V, Nb, Ta, Cr, WおよびScからなる第1金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、第2金属層 (103) はNi, PdおよびCoからなる第2金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、そして第3電極層 (104) はAuを含むことを特徴としている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 p型のIII族窒化物半導体層上の電極構造であって、前記半導体層上に順次積層された第1、第2および第3の電極層を含み、

前記第1電極層はTi、Hf、Zr、V、Nb、Ta、Cr、W、およびScからなる第1金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、

前記第2電極層はNi、Pd、およびCoからなる第2金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、前記第3電極層はAuを含むことを特徴とする電極構造。

【請求項2】 前記第1電極層の厚さが1～500nmの範囲内にあることを特徴とする請求項1に記載の電極構造。

【請求項3】 前記第2電極層の厚さが5nm以上であることを特徴とする請求項1または2に記載の電極構造。

【請求項4】 前記第3電極層の厚さが50nm以上であることを特徴とする請求項1から3のいずれかの項に記載の電極構造。

【請求項5】 前記第1電極層は前記第1金属グループに含まれる金属の窒化物を含むとともに前記第2金属グループに含まれる金属とGaとの化合物をも含むことを特徴とする請求項1から4のいずれかの項に記載の電極構造。

【請求項6】 p型のIII族窒化物半導体層上の電極構造の形成方法であって、

Ti、Hf、Zr、V、Nb、Ta、Cr、W、およびScからなる第1金属グループから選択された少なくとも1種類を含む第1電極層を前記半導体層上に堆積し、Ni、Pd、およびCoからなる第2金属グループから選択された少なくとも1種類を含む第2の電極層を前記第1電極層上に堆積し、

Auを含む第3の電極層を前記第2電極層上に堆積する工程を含むことを特徴とする電極構造の形成方法。

【請求項7】 前記第1から第3の電極層が堆積された後にN₂雰囲気中、Ar雰囲気中、または真空中で300～700℃の範囲内の温度のもとで前記電極構造を熱処理する工程をさらに含むことを特徴とする請求項6に記載の電極構造の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、たとえば半導体レーザダイオードに代表されるようなIII族窒化物半導体装置における電極構造の改善に関するものである。

【0002】

【従来の技術】III族窒化物半導体であって、たとえばIn_xGa_yAl_{1-z}N（ただし、x+y+z=1、0≤x<1、0<y≤1、0≤z<1）で表わされるGaN系化合物半導体は、大きなエネルギーバンドギャップや高

い熱的安定性を有し、またその組成を調節することによってバンドギャップ幅を制御することも可能である。したがって、GaN系半導体は、発光素子や高温デバイスをはじめとして、さまざまな半導体デバイスに応用可能な材料として期待されている。なかでも、GaN系材料を用いた発光ダイオード（LED）では、青から緑の光波長域で数cd級の光度を有するデバイスが既に開発されて実用化されている。今後はさらに、長波長の光用のLEDを得て、LEDディスプレイをフルカラー化することや、GaN系材料を用いたレーザダイオード（LD）の実用化が、研究開発の目標になりつつある。

【0003】図7は、GaN系材料を用いた半導体デバイスにおいて、従来から用いられているp型電極の構造を模式的な断面図で示している。このp型電極においては、p型GaNからなるp型GaNコンタクト層501上にNiの金属層502を堆積して窒素雰囲気中で500℃において10分間アニールすることによって、GaNコンタクト層501とNi層502との拡散反応による中間層504が形成されている。Ni層502上には、さらに、ワイヤボンディングまたはデバイスの装着のための表面電極層503が積層されている。この表面電極層503の材料としては、Auなどが用いられる場合が多い。

【0004】このような電極構造において、中間層504は、p型GaNコンタクト層501とNi層502が直接接触した場合に界面に生じるショットキー障壁を緩和させる効果をもたらす。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図7に例示されているような従来技術によるp型GaN系コンタクト層上のp型電極においては、そのオーミック特性に不安定性があり、比コンタクト抵抗値も比較的高くて約10⁻²Ωcm²程度の範囲内にあるという課題がある。たとえば、半導体レーザのp型電極に必要とされる比コンタクト抵抗値は約10⁻³Ωcm²程度以下であり、これを従来技術で達成することは困難である。

【0006】そこで本発明者が従来技術によるp型電極構造を詳細に検討した結果、図7において形成される中間層504の主な成分はGaとNiの化合物（Ga-Ni化合物；以下、元素Xと元素Yの化合物をX-Y化合物と表記する）からなることがわかった。

【0007】また、中間層504の特性は、p型GaNコンタクト層501の表面状態、そのp型GaNコンタクト層501とNi層502との間の界面反応の進行具合、さらにはアニール温度などによって影響を受けやすく、そのような中間層504を含むp型電極では安定した一定の電極特性を得ることが困難であることも明らかになった。特に、中間層504の形成が不十分な場合には、p型電極とp型GaNコンタクト層501との間の密着強度に著しい低下を生じ、半導体デバイスをステム

などと電氣的に連結するためのワイヤボンディング時に電極の剥がれが頻発することもわかった。

【0008】さらに、中間層504の内部には、主要成分としてのGa-Niの化合物以外にNi-Nの化合物も形成されていることもわかった。このNi-Nの化合物のためのNの供給源は、p型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層501である。すなわち、p型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層501中のN原子が中間層504中に吸出され、p型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層501の表面近傍が高抵抗層（またはn型層）に変質し、その結果としてp型電極構造の高抵抗化を引き起こすことも明らかになった。

【0009】本発明者が明らかにした上述のような先行技術における課題に鑑み、本発明は、p型のIII族窒化物半導体層上で安定した低抵抗と高い密着強度を有する電極構造を高い歩留まりで提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、p型のIII族化合物半導体層上の電極構造は、半導体層上に順次積層された第1、第2および第3の電極層を含み、第1電極層はTi、Hf、Zr、V、Nb、Ta、Cr、W、およびScからなる第1金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、第2電極層はNi、Pd、およびCoからなる第2金属グループから選択された少なくとも1種類を含み、そして第3電極層はAuを含むことを特徴としている。

【0011】このような電極構造において、第1電極層に含まれるたとえばTiはたとえばn型Ga_{0.5}N_{0.5}層に対するn型電極構造において用いられてきた金属であり、p型Ga_{0.5}N_{0.5}層上にTi層を単体で形成すれば、それはショットキー電極としてふるまう。しかし、たとえばNiを含む第2電極層とp型Ga_{0.5}N_{0.5}層との界面に第1電極層としてTiを均一に少量用いることによって、この少量のTiがほとんどショットキー効果を生じることなく界面反応促進剤として作用することが明らかになった。

【0012】その結果、p型電極構造において、良好なオーミックコンタクトを得るために施されるアニール温度が従来に比べて100～200℃程度低温化され得るとともに、小さな比コンタクト抵抗値と高い密着強度が得られることがわかった。

【0013】第1電極層の厚さは1～500nmの範囲内にあり、第2電極層の厚さは5nm以上であり、そして第3電極層の厚さが50nm以上であることが好ましい。

【0014】オーミック化の熱処理の後において、第1電極層は第1金属グループに含まれる金属の窒化物を含むとともに、第2金属グループに含まれる金属とGaとの化合物をも含んでいる。

【0015】本発明によればまた、p型のIII族窒化物半導体層上の電極構造の形成方法において、Ti、H

f、Zr、V、Nb、Ta、Cr、W、およびScからなる第1金属グループから選択された少なくとも1種類を含む第1電極層を半導体層上に堆積し、Ni、Pd、およびCoからなる第2金属グループから選択された少なくとも1種類を含む第2の電極層を第1電極層上に堆積し、そしてAuを含む第3の電極層を第2電極層上に堆積する工程を含んでいることを特徴としている。

【0016】こうして第1から第3の電極層が堆積された後に、その電極構造は、N₂雰囲気中、Ar雰囲気中、または真空中で300～700℃の範囲内の温度のもとでオーミック化のために熱処理される。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態の具体例として以下の実施例1と2が試みられるとともに、それらに関連する事項も検討された。実施例1はp型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層上に順次積層されたTi層、Ni層、およびAu層を含むAu/Ni/Ti電極構造に関するものであり、実施例2はNi層の代わりにPd層を用いたAu/Pd/Ti電極構造に関するものである。

【0018】（実施例1）図1の模式的な断面図を参照して、まず、任意の半導体デバイスに含まれるp型のIII族窒化物半導体のコンタクト層101として、サファイア基板上にp型Ga_{0.5}N_{0.5}層が形成された。このp型Ga_{0.5}N_{0.5}層101を形成するために、有機金属気相成長（MOCVD）法によって、MgをドープしたGa_{0.5}N_{0.5}層がエピタキシャル成長させられた。Ga_{0.5}N_{0.5}層101には1.0×10¹⁹/cm³のMgが添加されており、N₂雰囲気下でのアニールによるp型化処理後に、p型Ga_{0.5}N_{0.5}層101は1.5×10¹⁷/cm³のキャリア濃度を示した。

【0019】その後、サファイア基板は電子ビーム（EB）真空蒸着装置内に配置され、p型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層101上の第1、第2および第3の電極層102、103、104として、厚さ5nmのTi層、厚さ15nmのNi層、および厚さ200nmのAu層がそれぞれ堆積された。

【0020】最後に、サファイア基板上の電極構造全体をN₂雰囲気下において約400℃でアニールすることによって、第1実施例による電極構造が完成させられた。

【0021】図2において、本発明を利用して完成された電極構造が模式的な断面図で示されている。実施例1において400℃でアニールされた後の電極構造を詳細に調べたところ、サファイア基板上では下から順にp型Ga_{0.5}N_{0.5}層101、Ti-N化合物とNi-Ga化合物との混合物層102A、Ni層103、そしてAu層104からなっていることが明らかになった。他方、400℃でのアニール前の電極断面構造では、Ti-N化合物とNi-Ga化合物はほとんど検出されなかった。このことから、これらTi-NとNi-Gaの2種類の化合物は、400℃におけるオーミック化アニール工程中の

反応によって形成されているものと考えられる。

【0022】前述のように、従来の電極構造においてp型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層501とNi層502との間に形成されるNi-N化合物は、その電極構造の高抵抗化や不安定性の要因となる。しかし、実施例1においてはオーミック化の最終アニール前にTi層102が存在しているので、その最終アニールの初期において、まずp型Ga_{0.5}N_{0.5}層101とTi層102との間でTi-N化合物が形成される。このTi-N化合物のためのNは主としてp型Ga_{0.5}N_{0.5}層101から供給されるので、Ga_{0.5}N_{0.5}層101の表面はGaが過剰な状態になっている。そして、過剰になったフリーのGaとNi層103からのNiとが直接反応することによって、混合物層102A中のNi-Ga化合物が形成される。このような反応過程を経ることによって、実施例1ではp型Ga_{0.5}N_{0.5}層101の表面の化学量論的組成比を損なうことなく、そしてNi-N化合物の形成に伴う高抵抗層（またはn型層）を形成することなく、p型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層101と金属電極との間のオーミック化反応を促進させることができると考えられる。

【0023】ところで、TiとNは相互に高い反応性を有しているので、上述の混合物層102Aに含まれているTi-N化合物は、図7におけるようなGa_{0.5}N_{0.5}層501とNi層502との反応によって生じるNi-Ga化合物層504と比較して、より低温のアニールによって生じる。そして、TiによってNが奪われてフリーになったGaの存在下において、Ni-Ga化合物の形成反応も、NiがGaとNとの結合を切ってGaと反応するに要する温度より低いアニール温度で生じやすくなる。すなわち、実施例1の電極構造がオーミック性を得るために必要とされるアニールは、図7に示された従来の電極構造に比べて低温で行なうことが可能である。

【0024】図3は、このような事実を立証するグラフである。このグラフにおいて、横軸のアロイ温度(°C)は電極構造をオーミック化するためのアニール温度を表わし、縦軸のコンタクト抵抗(Ωcm^2)はオーミック化処理後の抵抗を表わしている。

【0025】図3から理解されるように、従来のAu/Ni電極構造においては黒丸印で表わされているように400°Cのアニール温度からGa_{0.5}N_{0.5}層501とNi層502との界面反応によるコンタクト抵抗の顕著な低下が生じ始めるのに対し、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造では白丸印で表わされているように300°Cのアニール温度からコンタクト抵抗の顕著な低下が開始しており、従来より低温でGa_{0.5}N_{0.5}層101とNi層103との反応が生じ始めていることがわかる。このように比較的低温のアニールによってオーミック化され得ることは、電極製造プロセス中の温度制御精度の向上やそのプロセスの簡便化を可能にし、生産工程上で非常に有益な利点となる。

【0026】同じく図3からわかるように、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造は、従来のAu/Ni電極構造に比べて、300~600°Cのアニール温度範囲内で小さなコンタクト抵抗を有している。また、最小のコンタクト抵抗の得られるアニール温度についても従来のAu/Ni電極構造では500°Cであるのに対して、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造ではそれより低い400°Cである。これらの理由としては、実施例1ではTi層102が介在するので、従来の電極構造で見られたGa_{0.5}N_{0.5}層501の表面における化学量論的組成比のずれやNi-N化合物の生成に起因する高抵抗層（またはn型層）の形成が抑制された効果によると考えられる。

【0027】図4は、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造において、Ti層102とNi層103のそれぞれの厚さを種々に変化させてアニール処理した後のオーミック性を判定した結果を示している。この図4のグラフにおいて、横軸はTi層102の膜厚(nm)を表わし、縦軸はNi層103の膜厚(nm)を表わしている。黒丸印はAu/Ni/Ti電極において従来のAu/Ni電極より小さなコンタクト抵抗が安定して得られた場合を表わし、×印は従来に比べて明らかな改善効果が得られなかった場合を示している。

【0028】図4に示されているように、Ti層102の膜厚に関しては、それが約1~500nmの範囲内にある場合に、Au/Ni/Ti電極構造において従来のAu/Ni電極構造に比べて小さなコンタクト抵抗が安定して得られた。しかし、Ti層102が1nmより薄くてたとえば0.5nmの場合、Au/Ni/Ti電極構造のアニール後のコンタクト抵抗は、従来のAu/Ni電極構造に比べてほとんど改善されなくなった。これは、Ti層102が薄すぎるために、Ga_{0.5}N_{0.5}層101との界面反応においてTi-N化合物を形成するための絶対量が不足し、Ni層103からのNiとGa_{0.5}N_{0.5}層101との間の反応が支配的になるためと考えられる。他方、Ti層102が500nmより厚い場合には、Au/Ni/Ti電極構造はアニールの温度を高くしたり時間を長くしてもオーミック特性を示さず、ショットキー特性しか示さなかった。これは、Ti層102が厚すぎるためにNi層103とGa_{0.5}N_{0.5}層101とが完全に遮断され、Niが反応に寄与し得ないためであると考えられる。

【0029】Ni層103の膜厚に関しては、それが約5nm以上の場合に、Au/Ni/Ti電極構造において従来のAu/Ni電極構造に比べて小さいコンタクト抵抗が安定して得られた。しかし、Ni層103が5nmより薄くてたとえば1nmの場合、Au/Ni/Ti電極構造はアニール後においてもオーミック特性が不十分であった。これは、Ni層103の厚さが十分でないために、Au層104からNi層103を貫通してAuがTi層102まで達してしまうためであると考えられ

る。他方、Ni層103の膜厚の上限に関しては、それを1 μ m程度まで厚くしてもAu/Ni/Ti電極構造の電気的特性に対する悪影響は見られなかったが、1 μ mを超える厚さでは電極構造が少し剥がれやすくなる傾向のあることが観察された。したがって、電極構造を実際の半導体デバイスに使用するうえで重要なその密着強度を考慮すれば、Ni層103の好ましい厚さの上限は約1 μ mであると考えられる。

【0030】さらに、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造の特性をさらに詳細に調べるために、Au層を含まない比較例としてのNi/Ti電極構造も試作された。しかし、このNi/Ti電極構造はN₂雰囲気中のアニール時にNiが雰囲気中のNと化合物を形成してしまい、良好なオーミック特性を得ることができなかった。この現象について検討した結果、Ni層の窒化による変質を防ぐためには実施例1におけるようにAu層104を積層しておけばよく、Au層の厚さは約50nm以上であれば十分であることがわかった。

【0031】他方、Au層104の厚さの上限については、電極の電気的特性からは何ら制限がない。しかし、Au層104が約5 μ mより厚くなれば、電極のパターニングにリフトオフ工程が利用される場合にそのリフトオフの容易性が低下する。また、ワイヤボンディング工程の接着性の観点からもAu層104の厚さが5 μ mあれば十分であり、それ以上厚くしても高価なAuの使用量が増えるだけであって好ましくない。したがって、Au層104の厚さの好ましい上限は、約5 μ mであると考えられる。

【0032】さらに、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造に対する比較例としてAu/Ti/Ni電極構造とAu/(TiNi合金)電極構造も試作されたが、いずれの比較例においても実施例1におけるような良好な電気的特性を得ることができなかった。これらの事実が、図3のグラフと同様な図8と図9のグラフに示されている。

【0033】図8のグラフにおいて、白丸印と黒丸印は、それぞれ比較例のAu/Ti/Ni電極構造と従来のAu/Ni電極構造におけるコンタクト抵抗のアニール温度依存性を表わしている。このグラフに示されているように、比較例のAu/Ti/Ni電極構造は、いずれの温度によるアニール後においても、従来のAu/Ni電極構造に比べて、ほとんどコンタクト抵抗の改善をもたらすはしない。これは、Au/Ti/Ni電極構造においても従来と同様にNi層がp型Ga_{0.5}N層に直接接触しているためその界面にNi-N化合物を生成し、高抵抗の界面層が生じるからであると考えられる。

【0034】図9のグラフにおいては、黒丸印と白丸印が、それぞれ比較例のAu/(TiNi合金)電極構造と実施例1のAu/Ni/Ti電極構造におけるコンタクト抵抗のアニール温度依存性を表わしている。比較例

のAu/(TiNi合金)電極構造においては、やはりTiNi合金層中のNiまたはNiの濃度の高い部分とp型Ga_{0.5}Nコンタクト層とが部分的に直接接触反応して、NiN化合物を生成する傾向がある。したがって、比較例のAu/(TiNi合金)電極構造ではアニール後に部分的に高抵抗領域が形成され、その結果として、電極全体として平均化したコンタクト抵抗も高くなると考えられる。

【0035】他方、実施例1のAu/Ni/Ti電極構造では、アニール前にTi層102がGa_{0.5}N層101の表面を覆っているため高抵抗化の要因であるNi-N化合物が生成されることがなく、図9に示されているように比較例のAu/(TiNi合金)電極構造に比べて小さなコンタクト抵抗値を安定して得ることができる。すなわち、実施例1の電極構造における電気的特性の改善効果に関して、Ni層103とp型Ga_{0.5}Nコンタクト層101との間に形成されたTi層102が重要な役割を果たしていることがわかる。

【0036】なお、実施例1において、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層に含まれるMg濃度に関しては $1.0 \times 10^{18} \sim 1.0 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲で変化させられたが、いずれのMg濃度のp型Ga_{0.5}Nコンタクト層に対してもAu/Ni/Ti電極構造によって良好なオーミック特性を得ることができた。

【0037】また、実施例1では電極構造のオーミック化のアニールがN₂雰囲気中で行なわれたが、Ar雰囲気中または真空中でアニールされてもよい。その場合には、最適なアニール温度がN₂雰囲気を用いる場合に比べて少し変化するが、従来のAu/Ni電極構造の最適なアニール温度に比べて低くなることには変わりはない。

【0038】さらに、実施例1においては、アニール時の界面反応が従来例に比べて低温でかつ温度などの条件に影響されにくく確実に生じるので、従来の電極においてしばしば見られた界面の密着強度不足による剥がれの問題を生じることもない。

【0039】(実施例2)図1を参照して、実施例2においても、実施例1と同様にサファイア基板上にMgがドーピングされたp型Ga_{0.5}Nコンタクト層101が形成された。このGa_{0.5}Nコンタクト層101上には、厚さ5nmのTi層102、厚さ30nmのPd層103、および厚さ200nmのAu層104がEB蒸着法によって堆積された。そして、サファイア基板上の電極構造全体をN₂雰囲気下において約500℃でアニールすることによって、実施例2による電極構造が完成させられた。

【0040】図2を参照して、この実施例2によって完成した電極構造において、サファイア基板上では下から順にp型Ga_{0.5}N層101、Ti-N化合物とPd-Ga化合物との混合物層102A、Pd層103、そしてAu層104からなっていることが明らかになった。なお、500℃でのアニール前の電極断面構造では、Ti

-N化合物とPd-Ga化合物はほとんど検出されなかった。このことから、これらのTi-NとPd-Gaの2種類の化合物は、500℃におけるオーミック化アニール工程中の反応によって形成されるものであると考えられる。

【0041】Ti層を含まない比較例としてのAu/Pd電極構造の場合、アニール処理後においてPd層とGaNコンタクト層との間にPd-N化合物が形成される。このPd-N化合物は、従来のAu/Ni電極構造におけるNi-N化合物と同様に、電極構造の高抵抗化や不安定性の要因となる。しかし、実施例2においてはオーミック化アニールの前にTi層102が実施例1の場合と同じ役割を果たすので、p型GaN層101の表面の化学量論的組成比を損なうことなく、そしてPd-N化合物の形成に伴う高抵抗層（またはn型層）を形成することなく、p型GaNコンタクト層101と金属電極との間のオーミック化反応を促進させることができると考えられる。

【0042】図3のグラフと同様な図5のグラフにおいて、白丸印と黒丸印は、それぞれ実施例2のAu/Pb/Ti電極構造と比較例のAu/Pd電極構造におけるコンタクト抵抗のアニール温度依存性を表わしている。このグラフに示されているように、400～600℃の温度範囲において実施例2のAu/Pd/Ti電極構造は比較例のAu/Pd電極構造に比べて小さなコンタクト抵抗を有している。また、界面反応によってコンタクト抵抗が顕著に低減し始めるアニール温度に関しても、比較例のAu/Pd電極構造においては500℃からであるのに対して、実施例2のAu/Pd/Ti電極構造においては400℃からであり、約100℃だけ低下している。このようにより低い温度のアニールによってオーミック化され得ることは、実施例1に関しても述べられたように、電極製造工程において非常に有益な利点となり得る。

【0043】図4に類似した図6のグラフは、実施例2のAu/Pd/Ti電極構造において、Ti層102とPd層103のそれぞれの厚さを種々に変化させてアニール処理した後のオーミック性を判定した結果を示している。実施例1の場合と同様に、実施例2においても、Ti層102の膜厚が約1～500nmの範囲内にある場合に低いコンタクト抵抗が安定して得られた。Pd層103の膜厚に関しては、それが約10nm以上の場合に、従来に比べて低いコンタクト抵抗が安定して得られた。Pd層103の膜厚の上限に関しては、1μm程度まで厚くしてもAu/Pd/Ti電極構造の電気的特性に対する悪影響は見られなかったが、1μmを超える厚さでは、実施例1の場合と同様に電極構造が少し剥がれやすくなる傾向のあることが観察された。したがって、実施例1の場合と同様に、実施例2においてもPd層103の好ましい厚さの上限は約1μmであると考えられ

る。

【0044】また、Au層を含まない比較例のPd/Ti電極構造も試作された。しかし、この比較例のPd/Ti電極構造においても、N₂雰囲気中のアニール時にPdが雰囲気中のNと化合物を形成してしまい、良好なオーミック特性を得ることができなかった。この現象について検討した結果、実施例1に関連して述べられたのと同様に、Pd層の窒化による変質を防ぐためにはAu層を積層しておけばよく、そのAu層の厚さは約50nmであれば十分であることがわかった。また、Au層の厚さの上限については、実施例1に関連して述べられたのと同様の理由によって、約5μm以下であることが好ましいと考えられる。

【0045】なお、実施例1の場合と同様に、実施例2においてもp型GaNコンタクト層に含まれるMgの濃度が $1.0 \times 10^{18} \sim 1.0 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲で変化させられたが、いずれのMg濃度のp型GaNコンタクト層に対してもAu/Pd/Ti電極構造によって良好なオーミック特性を得ることができた。

【0046】また、実施例1の場合と同様に、上述の実施例2の電極構造のオーミック化のアニールはN₂雰囲気で行なわれたが、Ar雰囲気中または真空中でアニールされてもよい。その場合にも、最適なアニール温度がN₂雰囲気を用いる場合に比べて少し変化するが、比較例のAu/Pd電極構造の最適アニール温度に比べて低くなることに変わりはない。

【0047】さらに、実施例1の場合と同様に実施例2においても、アニール時の界面反応が従来例に比べて低温でかつ温度などの条件に影響されにくくて確実に生じるので、従来の電極においてしばしば見られた界面の密着強度不足による剥がれの問題を生じることもない。

【0048】（関連事項の検討）上述の実施例1と2の電極構造をAlGaInN系半導体レーザ素子に適用したところ、従来の電極構造に比べて電極部における電圧降下を低く抑えることができ、半導体レーザ素子全体の消費電力を低減し得ることが確認された。たとえば、5μmのストライプ幅と500μmの共振器長の寸法を有する半導体レーザに実施例1のAu/Ni/Ti電極と従来のAu/Ni電極を適用した場合、20mA通電時の電極部における電圧降下はそれぞれ約0.8Vと約4Vであり、本発明による優れた効果を明確に確認することができた。また、実施例2におけるようにNi層の代わりにPd層を用いることによってコンタクト抵抗のより抵抗化を図ることができ、それに伴って半導体レーザ素子の電極部分における電圧降下もさらに低減し得ることが確認された。

【0049】なお、実施例2においてはTiの第1金属層102上にPdの第2金属層103が積層されているが、これは、実施例1に関連して述べられたように、本発明において特徴的なPd-Ga化合物とTi-N化合

物との混合層102Aを効率よく形成するために必要な構成である。すなわち、積層構造がAu/Ti/PdまたはAu/(TiPd合金)であっても、本発明の特徴である低いコンタクト抵抗率が得られなくなる。

【0050】また、上述の実施例1と2ではp型GaNコンタクト層と直接接する第1金属層102としてTiが用いられたが、さらに検討した結果、TiのみならずHf、Zr、V、Nb、Ta、Cr、W、Scなどの金属単体またはこれらの合金を用いてもTiと同様の効果が得られることがわかった。

【0051】さらに、第1金属層102上に積層される第2金属層としてCoを選択したAu/Co/Ti電極構造についても検討したが、実施例1および2の場合と同様に、Ti層を含まないAu/Co電極構造に比較して優れた電気的特性および密着性が得られることも確認された。

【0052】さらにまた、実施例1と2では各金属層の堆積にEB蒸着法が用いられたが、金属層の堆積法に関しては、スパッタリング法やCVD法のように他の方法が用いられてもよいことは言うまでもない。

【0053】(実施例3)以下に、本発明の第3の実施例を素子断面を模式的に示した図10～図12を参照しながら説明する。本実施例は、実施例1で説明した電極構造を実際のレーザ素子構造に適用した例である。このレーザ素子は、以下の方法により作製される。

【0054】最初に、図10に示すように、C面の結晶面を有するサファイア基板1000上にGaNバッファ層1001、n型GaNコンタクト層1002、n型AlGaNクラッド層1003、n型GaN光ガイド層1004、InGaN多重量子井戸活性層1005、P型GaN光ガイド層1006、p型AlGaN層1007、p型GaNコンタクト層1008をMOCVD法により順次エピタキシャル成長させ、GaN系半導体積層構造を製作する。

【0055】続いて、図11に示すように、GaN系半導体積層構造上にドライエッチングマスク1009を作製した後、ドライエッチングマスク1009で被覆されていない部分を、リアクティブイオンエッチング(RIE)法によりn型GaNコンタクト層1002まで掘り下げ、メサ構造を形成する。

【0056】次に、ドライエッチングマスク1009を完全に除去した後、メサ上部に絶縁膜1010によるストライプパターンを形成する。

【0057】次に、図12に示すように、メサ上部にAu/Ni/Tiからなるp型電極1011、メサ底部にあたるn型GaNコンタクト層1002上にAl/Tiからなるn型電極1012を形成する。尚、各電極金属の積層膜厚はp型電極1011では、Auが200nm、Niが15nm、Tiが5nm、n型電極ではAlが150nm、Ti30nmである。最後に、レーザ素子構

造全体をN₂雰囲気下において、約400℃でアニールし、レーザ素子を完成させる。

【0058】このようにして作製された本実施例のレーザ素子では、Au/Niからなるp型電極を有する従来のレーザ素子に比べて、p型電極の密着強度のレーザ素子ごとのばらつきが抑制され、良品のとれる歩留まりが向上した。また、p型電極形成後に行うアニール処理温度も400℃と従来より100℃も低くなり、これにより製造プロセスの温度制御精度の向上や製造プロセスの簡便化に寄与した。

【0059】また、p型電極が全面に渡り均一にp型GaNコンタクト層1008との界面反応が生じることによって、電極-コンタクト層における良好なオーミック特性が得られる接触面積が大きくなり、結果的にp型電極のコンタクト抵抗が低減される。これにより、従来のAu/Ti電極をp型電極に使用したレーザ素子に比べて、動作電圧の低減が図れた。

【0060】(実施例4)以下に、本発明の第4の実施例を素子断面を模式的に示した図10～図12を参照しながら説明する。本実施例は、実施例3で説明したレーザ素子構造と比較すると、p型電極以外の構造は同じである。

【0061】実施例3と同様に、図10に示すように、C面の結晶面を有するサファイア基板1000上にGaNバッファ層1001、n型GaNコンタクト層1002、n型AlGaNクラッド層1003、n型GaN光ガイド層1004、InGaN多重量子井戸活性層1005、P型GaN光ガイド層1006、p型AlGaN層1007、P型GaNコンタクト層1008をMOCVD法により順次エピタキシャル成長させ、GaN系半導体積層構造を製作する。

【0062】続いて、図11に示すように、GaN系半導体積層構造上にドライエッチングマスク1009を作製した後、ドライエッチングマスク1009で被覆されていない部分を、リアクティブイオンエッチング(RIE)法によりn型GaNコンタクト層1002まで掘り下げ、メサ構造を形成する。

【0063】次に、ドライエッチングマスク1009を完全に除去した後、メサ上部に絶縁膜1010によるストライプパターンを形成する。

【0064】次に、図12に示すように、メサ上部にAu/Pd/Tiからなるp型電極1011、メサ底部にあたるn型GaNコンタクト層1002上にAl/Tiからなるn型電極1012を形成する。尚、各電極金属の積層膜厚はp型電極1011では、Auが200nm、Pdが50nm、Tiが5nm、n型電極ではAlが150nm、Ti30nmである。最後に、レーザ素子構造全体をN₂雰囲気下において、約500℃でアニールし、レーザ素子を完成させる。

【0065】このようにして作製された本実施例のレー

ザ素子では、実施例3で示すレーザ素子と同様に、p型電極の密着強度のレーザ素子ごとのばらつきが抑制され、良品のとれる歩留まりが向上した。また、p型電極形成後に行うアニール処理温度もTiをp型電極に含まない場合と比較して100℃ほど低くなり、これにより製造プロセスの温度制御精度の向上や製造プロセスの簡便化に寄与した。

【0066】また、本実施例では、Au/Pd電極をp型電極として用いた場合に比べて、p型電極部の電圧降下及びレーザ素子全体の動作電圧が減少する。また、NiのかわりにPdを用いることによって、実施例3に示すレーザ素子よりもp型電極部の動作電圧及びレーザ素子全体の動作電圧を低減することができた。

【0067】(実施例5)次に、本発明の第5の実施例を素子断面を模式的に示した図13～図14を参照しながら説明する。本実施例は、実施例1で説明した電極構造を実際のレーザ素子構造に適用したまた別の例である。このレーザ素子は、以下の方法により作製される。

【0068】最初に、図13に示すように、{0001}面の面方位を有するn型Ga_{0.5}N基板1100上にn型Ga_{0.5}Nバッファ層1101、n型AlGa_{0.5}Nクラッド層1102、n型Ga_{0.5}N光ガイド層1103、InGa_{0.5}N多重量子井戸活性層1104、p型Ga_{0.5}N光ガイド層1105、p型AlGa_{0.5}N層1106、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層1107をMOCVD法により順次エピタキシャル成長させ、Ga_{0.5}N系半導体積層構造を製作する。

【0069】続いて、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層1107の上面に絶縁膜1108によるストライプパターンを形成する。

【0070】次に、図14に示すように、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層1107上にAu/Ni/Tiからなるp型電極1109、及びn型Ga_{0.5}N基板1100裏面にAl/Tiからなるn型電極1110を形成する。尚、各電極金属の積層膜厚はp型電極1109では、Auが200nm、Niが15nm、Tiが5nm、n型電極1110ではAlが150nm、Ti30nmである。最後に、レーザ素子構造全体をN₂雰囲気下において、約400℃でアニールし、レーザ素子を完成させる。

【0071】本実施例では、半導体層をエピタキシャル成長させる基板として、n型Ga_{0.5}N基板を使用した。このことによって、実施例3、実施例4に説明したサファイア基板を用いたレーザ素子に比べ、欠陥密度の低減などのエピタキシャル層の結晶性が向上し、ひいては、本実施例のレーザ素子の特性が向上する。このようなGa_{0.5}N基板を用いた場合でも、本願発明の電極構造を用いることによって、サファイア基板上のレーザ素子と同様な効果を示し、従来のAu/Ti電極をp型電極に使用したレーザ素子に比べて、p型電極の密着強度の向上、また、p型電極部での電圧降下及び素子全体の動作電圧の低減が図れた。

【0072】(実施例6)次に、本発明の第5の実施例を素子断面を模式的に示した図13～図14を参照しながら説明する。本実施例は、実施例1で説明した電極構造を実際のレーザ素子構造に適用したまた別の例である。このレーザ素子は、以下の方法により作製される。

【0073】最初に、図13に示すように、{0001}面の面方位を有するn型Ga_{0.5}N基板1100上にn型Ga_{0.5}Nバッファ層1101、n型AlGa_{0.5}Nクラッド層1102、n型Ga_{0.5}N光ガイド層1103、InGa_{0.5}N多重量子井戸活性層1104、p型Ga_{0.5}N光ガイド層1105、p型AlGa_{0.5}N層1106、P型Ga_{0.5}Nコンタクト層1107をMOCVD法により順次エピタキシャル成長させ、Ga_{0.5}N系半導体積層構造を製作する。

【0074】続いて、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層1107の上面に絶縁膜1108によるストライプパターンを形成する。

【0075】次に、図14に示すように、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層1107上にAu/Pd/Tiからなるp型電極1109及びn型Ga_{0.5}N基板1100裏面にAl/Tiからなるn型電極1110を形成する。尚、各電極金属の積層膜厚はp型電極1109では、Auが200nm、Pdが50nm、Tiが5nm、n型電極ではAlが150nm、Ti30nmである。最後に、レーザ素子構造全体をN₂雰囲気下において、約400℃でアニールし、レーザ素子を完成させる。

【0076】本実施例でも、半導体層をエピタキシャル成長させる基板として、n型Ga_{0.5}N基板を使用した。また、本実施例では、Au/Pd電極をp型電極として用いた場合に比べて、p型電極部の電圧降下及びレーザ素子全体の動作電圧が減少する。また、NiのかわりにPdを用いることによって、実施例5に示すレーザ素子よりもp型電極部の動作電圧及びレーザ素子全体の動作電圧を低減することができた。

【0077】尚、実施例5及び実施例6では、基板として{0001}面の面方位を有するGa_{0.5}N基板を用いたが、基板はこれに限られるものではなく、{0001}面の他に{0-100}面、{11-20}面、{1-101}面、{01-12}面で実施例5、6と同等の特性を有するレーザ素子を作製できる。また、本発明は活性層としてInGa_{0.5}N多重量子井戸構造を用いたが、例えば活性層としてGa_{0.5}N系半導体にAsやPなどが含まれる構造を用いてもよい。また、レーザ素子ではp型Ga_{0.5}Nコンタクト層の電流注入部は電極ストライプ構造を使用しているが、リッジ構造やその他の構造を用いても構わない。また、レーザ素子に限るものではなく、発光素子(LED)にも本発明は適用できる。

【0078】

【発明の効果】以上のように、本発明の電極構造によれば、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層に対する電極構造の高抵抗化要因を抑制して低抵抗で良好なオーミック特性を有す

る電極構造を実現することができるとともに、コンタクト層と電極構造との間の密着強度も改善され、半導体デバイスの生産歩留まりを大幅に向上させることができる。また、本発明の副次的な効果として、電極構造のオーミック化に必要なアニール温度を従来に比べて低くすることができるので、半導体デバイスの製造プロセスにおける簡便化や制御の容易化に大きく貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の電極構造において、ⅢⅤ族窒化物半導体コンタクト層上に複数の金属層が堆積された直後の状態を示す模式的な断面図である。

【図2】本発明の電極構造において、オーミック化アニール処理後の状態を示す模式的な断面図である。

【図3】実施例1による電極構造のオーミック化アニールとしてのアロイ温度とコンタクト抵抗の関係を示すグラフである。

【図4】実施例1の電極構造において、Ti層とNi層の好ましい厚さ範囲を示すグラフである。

【図5】実施例2による電極構造において、オーミック化アロイ温度とコンタクト抵抗との関係を示すグラフである。

【図6】実施例2による電極構造において、Ti層とPd層の好ましい厚さ範囲を示すグラフである。

【図7】従来の電極構造において、オーミック化熱処理後の状態を示す模式的な断面図である。

【図8】比較例のAu/Ti/Ni電極構造と従来のAu/Ni電極構造におけるオーミック化アロイ温度とコンタクト抵抗との関係を示すグラフである。

【図9】比較例のAu/(TiNi合金)電極構造におけるオーミック化アロイ温度とコンタクト抵抗との関係を実施例1との対比において示すグラフである。

【図10】サファイア基板上に形成した本発明の電極構造を有したレーザ素子の作製工程を示す図である。

【図11】サファイア基板上に形成した本発明の電極構造を有したレーザ素子の作製工程を示す図である。

【図12】サファイア基板上に形成した本発明の電極構造を有したレーザ素子の作製工程を示す図である。

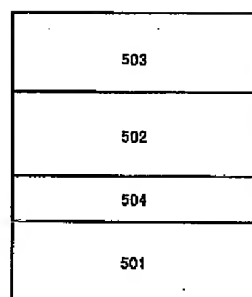
【図13】GaN基板上に形成した本発明の電極構造を有したレーザ素子の作製工程を示す図である。

【図14】GaN基板上に形成した本発明の電極構造を有したレーザ素子の作製工程を示す図である。

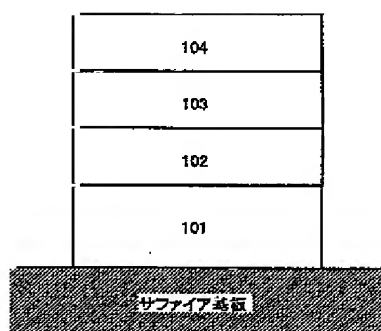
【符号の説明】

- 101 p型GaNコンタクト層
- 102 第1金属層
- 102A オーミック化熱処理後の混合層
- 103 第2金属層
- 104 第3金属層
- 501 p型GaNコンタクト層
- 502 Ni層
- 503 Au層
- 504 GaNiとNiNを含む中間層
- 1000 サファイア基板
- 1001 GaNバッファ層
- 1002 n型GaNコンタクト層
- 1003 n型AlGaNクラッド層
- 1004 n型GaN光ガイド層
- 1005 InGaN多重量子井戸活性層
- 1006 p型GaN光ガイド層
- 1007 p型AlGaN層
- 1008 p型GaNコンタクト層
- 1009 ドライエッチングマスク
- 1010 絶縁膜
- 1011 p型電極
- 1012 n型電極
- 1100 n型GaN基板
- 1101 n型GaNバッファ層
- 1102 n型AlGaNクラッド層
- 1103 n型GaN光ガイド層
- 1104 InGaN多重量子井戸活性層
- 1105 p型GaN光ガイド層
- 1106 p型AlGaN層
- 1107 p型GaNコンタクト層
- 1108 絶縁膜
- 1109 p型電極
- 1110 n型電極

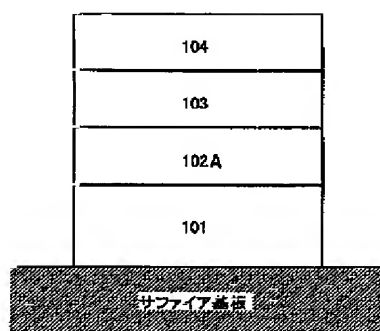
【図7】



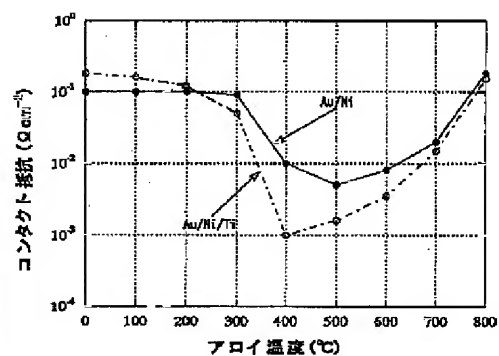
【図1】



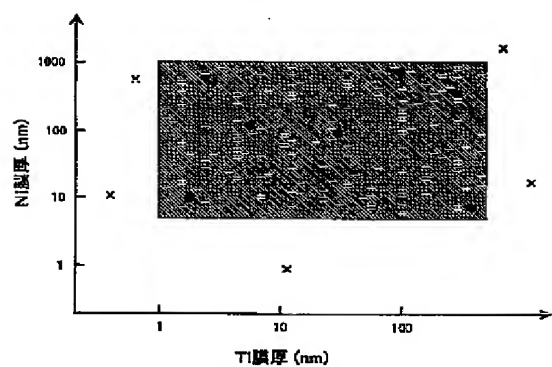
【図2】



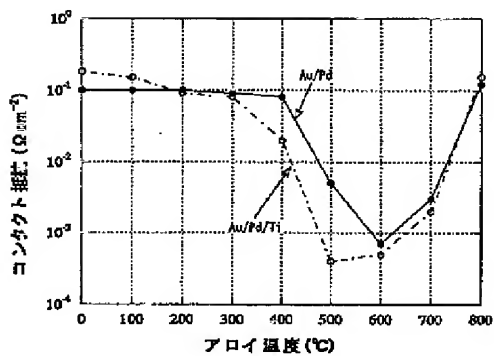
【図3】



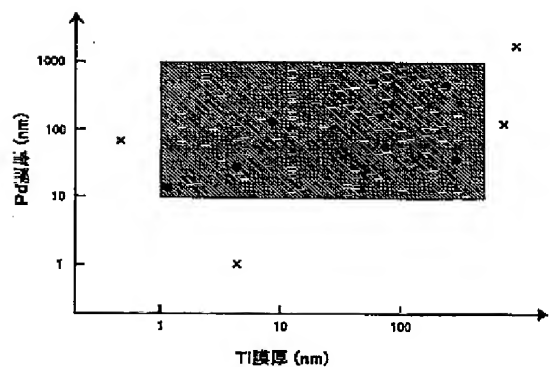
【図4】



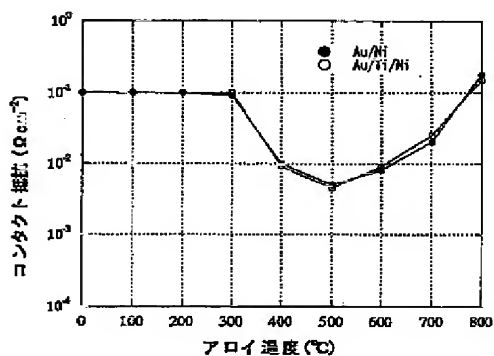
【図5】



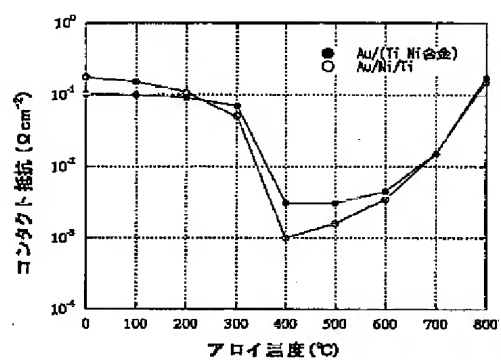
【図6】



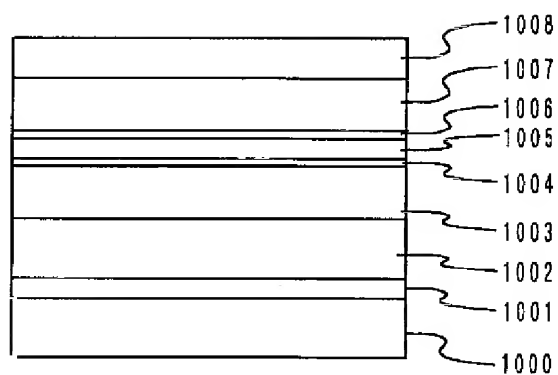
【図8】



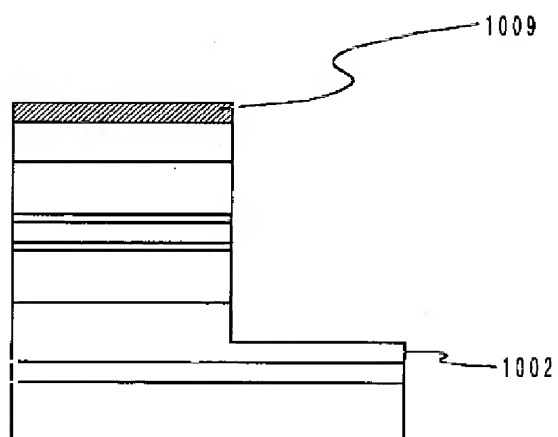
【図9】



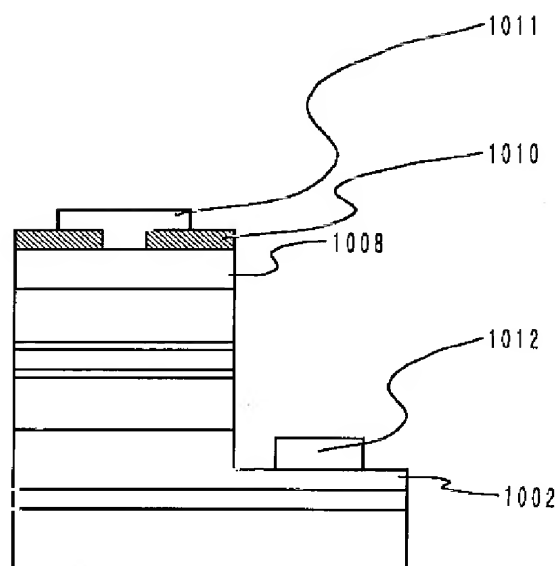
【図10】



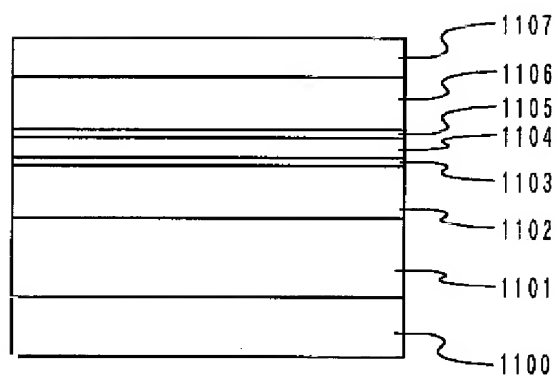
【図11】



【図12】



【図13】



【図14】

